

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 83 06669**

---

(54) Appareil de réfrigération magnétique.

(51) Classification internationale (Int. Cl. <sup>3</sup>). F 25 B 21/00.

(22) Date de dépôt ..... 22 avril 1983.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : JP, 23 avril 1982, n° 67277/82.

(41) Date de la mise à la disposition du  
public de la demande ..... B.O.P.I. — « Listes » n° 43 du 28-10-1983.

---

(71) Déposant : Société dite : HITACHI, LTD. — JP.

(72) Invention de : Yoshinori Hakuraku, Hisanao Ogata et Takahiro Daikoku.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Bureau D. A. Casalonga, Office Josse et Petit,  
8, av. Percier, 75008 Paris.

Appareil de réfrigération magnétique

La présente invention concerne un appareil de réfrigération magnétique comprenant une matière de travail destinée à une réfrigération magnétique et un système de champ magnétique capable de modifier la répartition ou intensité d'un champ magnétique appliqué à la matière de travail et elle a trait, plus particulièrement, à un appareil de réfrigération magnétique du type décrit et convenant pour que l'on obtienne un meilleur rendement.

Un type d'appareil de réfrigération magnétique de la technique antérieure du type à mouvement de va-et-vient est décrit dans le brevet US n° 4 332 135. Un appareil de réfrigération magnétique du type à mouvement de va-et-vient, dans lequel une matière de travail est introduite dans un champ magnétique élevé et en est extraite par un mouvement de va-et-vient présente d'une façon générale l'inconvénient que les pièces mobiles ont une structure compliquée et que l'appareil est encombrant. On connaît également un autre type d'appareil de réfrigération magnétique d'un type rotatif décrit dans le brevet US n° 4 107 935. Dans ce type, une matière de travail est amenée à s'écouler dans un corps tournant, et il en résulte qu'il est essentiel de former un joint étanche à l'air. De plus, des moyens doivent être prévus pour faire circuler un fluide, de sorte que l'appareil devient très compliqué en ce qui concerne sa structure.

La présente invention a été conçue dans le but de remédier aux inconvénients mentionnés ci-dessus de la technique antérieure. C'est pourquoi l'invention a pour objet la réalisation d'un appareil de réfrigération magnétique d'un type fixe grâce auquel on peut obtenir un meilleur rendement.

La caractéristique remarquable de l'invention réside dans le fait que l'on place une matière de travail destinée à une réfrigération magnétique dans une position fixe et que l'on fait varier périodiquement la répartition ou l'intensité d'un champ magnétique appliqué à la matière de travail pour constituer un cycle de réfrigération. Sur le côté haute

température du cycle de réfrigération, l'entropie de la matière de travail diminue de façon semi-isothermique et la chaleur engendrée de cette façon est cédée à un réfrigérant sur le côté haute température à l'aide d'un transfert de chaleur par ébullition. Sur le côté basse température du cycle, la chaleur est absorbée par un réfrigérant présent sur le côté basse température à l'aide d'un transfert de chaleur par condensation.

Selon la présente invention, on obtient un appareil de réfrigération magnétique ayant un meilleur rendement et une fiabilité élevée, dans lequel la matière de travail peut être maintenue fixe par rapport à deux sections d'échange de chaleur, c'est-à-dire aux sections d'échange de chaleur des côtés haute température et basse température.

On va maintenant décrire les modes de réalisation préférés de l'invention en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

la figure 1 est une vue en coupe de l'appareil de réfrigération magnétique comprenant un mode de réalisation de l'invention ;

les figures 2 et 3 sont des vues montrant l'échangeur de chaleur dans la forme concrète de l'appareil de réfrigération magnétique représenté sur la figure 1 et conforme à l'invention ;

la figure 4 est un graphique entropie-température montrant le déroulement du cycle de réfrigération de l'appareil de réfrigération magnétique selon l'invention ; et

les figures 5 et 6 sont des vues en coupe de l'appareil de réfrigération magnétique comprenant d'autres modes de réalisation de l'invention.

La figure 1 montre un mode de réalisation qui fonctionne au voisinage de la plage de températures de l'hélium liquide. Un réfrigérant 1 se trouvant sur le côté haute température, réfrigérant qui est habituellement de l'hélium liquide ( $\sim 4,2$  K,  $\sim 1013$  mbars), est contenu dans un réservoir 2 raccordé par l'intermédiaire d'une canalisation de raccordement 3 à une chambre de refroidissement 4 remplie

d'hélium liquide 5. Dans la canalisation de raccordement 3 est montée une soupape 6 servant de soupape de sécurité pendant un fonctionnement à l'état stable, cette soupape étant une soupape de fermeture étanche de passage comprenant un corps de soupape conique et un siège de soupape. Pendant un fonctionnement à l'état stable, il est possible d'obtenir un gradient de température entre l'hélium liquide ( $\sim 4,2$  K,  $\sim 1013$  mbar) 1 et l'hélium liquide ( $\sim 1,8$  K,  $\sim 1013$  mbar) 5 par le phénomène Gorter-Mellink grâce à la soupape 6. Du point de vue de la pression, une communication est sensiblement maintenue entre l'hélium liquide 1 et l'hélium liquide 5. Le matériel devant être refroidi 7, comme par exemple une bobine supraconductrice, un matériel électronique pouvant fonctionner à une température très basse, etc., est disposé dans la chambre de refroidissement 4. Une matière de travail 8 est placée dans une partie inférieure du réservoir 2 pour effectuer une réfrigération magnétique. La matière de travail est une matière magnétique, comme par exemple  $Gd_3Ga_3O_{12}$ ,  $Gd_3Al_5O_{12}$ ,  $Gd_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$ , etc. Une chambre 9 de transfert de chaleur constituant un dispositif de commutation sur le côté basse température est placée en dessous d'une surface inférieure 8A de la matière de travail 8 et contient de l'hélium liquide saturé 10 dans des proportions d'environ 0,2 - 0,4 fois le volume de la chambre 9 de transfert de chaleur qui constitue un conduit de chaleur. La chambre 9 de transfert de chaleur qui est formée d'une matière à faible vitesse de transfert de chaleur, comme par exemple l'acier inoxydable, les céramiques, etc., est fixée par son extrémité supérieure à la matière de travail 8 de manière à agir comme un tout avec cette dernière. Une surface supérieure 8B de la matière de travail 8 constitue au moins une surface de transfert de chaleur en contact avec une chambre 16 de transfert de chaleur maintenue en communication avec le réservoir 2. Un échangeur de chaleur 11 est placé de manière telle qu'il est maintenu en contact direct avec l'hélium liquide saturé 10 et comporte une surface de transfert de chaleur qui permet à un échange de chaleur d'avoir lieu entre

l'hélium liquide saturé (1,79 K, 16,5 mbar) 10 et l'hélium liquide (1,8 K, 1013 mbars) 5. Les surfaces de transfert de chaleur de la matière de travail 8 et de l'échangeur de chaleur 11 comportent des ailettes ou sont façonnées de toute autre manière de telle sorte que la superficie de la surface de transfert de chaleur soit accrue. Grâce à la présence des larges superficies des surfaces de transfert de chaleur, il est possible de réduire essentiellement la résistance de Kapitza sur ces surfaces de transfert de chaleur.

La figure 2 montre un exemple de l'échangeur de chaleur 11 sous une forme concrète, dans laquelle l'échangeur de chaleur 11 se présente sous la forme d'une plaque comportant sur ses côtés opposés des surfaces de transfert de chaleur à ailettes. La référence 10A désigne une surface de liquide.

La figure 3 montre un autre exemple dans lequel l'échangeur de chaleur 11 est constitué par un tuyau 50 qui est destiné à l'introduction de l'hélium liquide 5 et qui est enroulé en hélice à sa partie terminale et est placé dans l'hélium liquide 10. Le tuyau 50 est fermé à son extrémité enroulée en hélice.

L'hélium liquide saturé 10 est introduit dans la chambre 9 de transfert de chaleur par l'intermédiaire d'un robinet 12 et d'un échangeur de chaleur 13. Pendant un fonctionnement à l'état stable, le robinet 12 est fermé pour maintenir constante la quantité d'hélium liquide saturé 10.

Les parties essentielles de l'appareil de réfrigération magnétique ayant la structure décrite ci-dessus sont entourées par une partie vide calorifuge 14. Un générateur 15 de champ magnétique élevé destiné à faire varier l'entropie magnétique de la matière de travail 8 est constitué par un aimant supraconducteur ou similaire immergé dans l'hélium liquide 1.

On va décrire le principe de fonctionnement de l'appareil de réfrigération magnétique selon l'invention. Dans le mode de réalisation représenté et décrit ci-dessus, on augmente et diminue l'entropie magnétique de la matière

de travail 8 en utilisant un procédé dans lequel on fait varier l'intensité d'un champ magnétique appliqué à la matière de travail 8 pour qu'un échange de chaleur puisse avoir lieu entre la matière de travail 8 et l'extérieur.

5 De façon plus spécifique, on maintient solidement en place la matière de travail 8 et on déplace verticalement le générateur 15 de champ magnétique élevé de manière à faire varier de cette façon l'intensité d'un champ magnétique appliqué à la matière de travail 8. Dans une variante, on

10 peut faire varier la valeur d'un courant traversant le générateur 15 de champ magnétique élevé.

Pour augmenter ou diminuer l'entropie magnétique de la matière de travail 8, on peut utiliser un autre procédé dans lequel la matière de travail 8 peut être une matière

15 présentant une anisotropie magnétique. Dans ce cas, on fait varier l'entropie magnétique de la matière de travail 8 en inversant l'orientation des lignes de force magnétique, même si l'intensité du champ magnétique reste inchangée. On peut donc faire varier l'entropie magnétique de la matière de

20 travail 8 de diverses manières.

On va décrire le cycle de réfrigération en se référant à la figure 4. L'appareil de réfrigération magnétique conforme à l'invention fonctionne suivant le cycle de Carnot de façon inverse. Au cours d'une phase A-B, le champ magnétique B augmente de façon adiabatique. Au cours d'une phase

25 B-C, le champ magnétique appliqué à la matière de travail 8 augmente de façon isothermique et l'entropie magnétique diminue. A ce moment, la chaleur  $Q_h$  engendrée est libérée par le transfert de chaleur ayant lieu par ébullition entre la matière de travail 8 et l'hélium liquide 1. La surface de

30 transfert de chaleur de la matière de travail 8 a été traitée pour améliorer sa caractéristique de transfert de chaleur par ébullition. La quantité de chaleur échangée entre la matière de travail 8 et l'hélium liquide 5 sur le côté basse température est régie essentiellement par la conductibilité à

35 travers l'hélium gazeux se trouvant à l'intérieur de la chambre 9 de transfert de chaleur. Le transfert de chaleur

a lieu difficilement entre la matière de travail 8 et l'hélium liquide 5 sur le côté basse température, de sorte que ces corps sont essentiellement isolés thermiquement l'un de l'autre.

Ensuite, le champ magnétique décroît notablement de façon adiabatique suivant la condition dans laquelle l'entropie magnétique a diminué comme décrit précédemment. De ce fait, la température de la matière de travail 8 chute. Au cours de cette phase, un échange de chaleur a lieu entre l'hélium liquide 1 et la matière de travail 8 par suite de la conductibilité thermique à travers l'hélium liquide 1. L'hélium liquide 1 a une conductibilité thermique très faible, c'est-à-dire  $2 \times 10^{-4} \text{ Wcm}^{-1} \text{ K}^{-1}$ , de sorte que pratiquement aucun transfert de chaleur n'a lieu à travers cet hélium liquide. Toutefois, de la chaleur est engendrée par le matériel 7 à refroidir et ceci a pour effet que l'hélium liquide 5, à partir duquel la chaleur est transportée à travers l'échangeur de chaleur 11 jusqu'à l'hélium liquide 10, se vaporise en donnant de l'hélium gazeux. L'hélium gazeux ainsi engendré se condense au cours d'une phase D-A sur une surface de transfert de chaleur par condensation (correspondant à la surface inférieure 8A sur la figure 1) de la matière de travail 8, de manière qu'une chaleur  $Q_c$  soit transférée de cette façon à la matière de travail 8. Au cours de cette phase, la matière de travail 8 absorbe de la chaleur, ce qui se traduit par une augmentation de l'entropie. Pendant cette phase, la matière de travail 8 et l'hélium liquide 1 sont sensiblement isolés thermiquement l'un de l'autre comme au cours de la phase C-D.

Le cycle précité A-B-C-D-A est répété périodiquement pour effectuer une opération de réfrigération.

Une des matières magnétiques mentionnées précédemment, à savoir  $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ , est utilisée de préférence comme matière de travail 8 car elle possède d'excellentes caractéristiques, de sorte qu'une grande variation est provoquée dans l'entropie par un champ magnétique dans une plage de températures comprise entre 1,8 et 4,2 K et parce qu'elle présente une conductibilité thermique élevée.

Des recherches ont montré que lorsque l'on utilise

Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub> comme matière de travail 8 dans une opération de réfrigération au cours de laquelle les densités de flux magnétique sur les côtés à fort et à faible champ magnétique sont fixées à 4 T (tesla) et sensiblement 0 T respectivement, les rendements en ce qui concerne le transfert de chaleur sur les côtés haute et basse température sont estimés être sensiblement 100 %, et si la température sur le côté basse température est de 1,8 K, l'appareil de réfrigération magnétique selon l'invention a un pouvoir de réfrigération d'environ 0,25 J (J/cm<sup>3</sup>) par unité de volume de la matière de travail,  $\gamma$  étant la fréquence du cycle de réfrigération. A ce moment, l'hélium liquide 10 devient de l'hélium superfluide présentant une tension de vapeur saturée de 21 mbars et l'hélium liquide 5 devient de l'hélium superfluide sous la pression atmosphérique car il présente une pression de  $\sim 1013$  mbars à travers la soupape 6.

Dans la description qui précède, on a utilisé de l'hélium liquide ordinaire comme réfrigérant sur le côté haute température et de l'hélium superfluide comme réfrigérant sur le côté basse température. Toutefois, on peut utiliser He<sup>3</sup>, qui est un isotope de He<sup>4</sup>, comme réfrigérant dans cette plage de températures. Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée à la plage de températures de travail spécifique mentionnée dans le mode de réalisation et si l'on utilise des réfrigérants appropriés, il est possible de choisir à volonté n'importe quelle plage de températures de travail. Par exemple, il serait possible d'obtenir un cycle de réfrigération présentant des températures inférieures à 4 K et 20 K si on utilisait de l'hélium liquide comme réfrigérant sur le côté basse température et de l'hydrogène liquide ( $\sim 1013$  mbars,  $\sim 20$  K) comme réfrigérant sur le côté haute température.

Selon la présente invention, la matière de travail peut être fixe par rapport aux réfrigérants 1 et 10 échangeurs de chaleur dans le processus d'échange de chaleur mettant en jeu la matière de travail 8 ou lorsque la matière de travail 8 dégage de la chaleur et absorbe de la chaleur. Il en résulte que les parties de la matière de travail 8 qui sont le siège

d'un transfert de chaleur peuvent être soumises à n'importe quel traitement voulu pour améliorer leur conductibilité thermique, ce qui permet à un échange de chaleur d'avoir lieu avec un degré élevé de rendement.

5 Du point de vue de la pression, l'hélium liquide 5 et l'hélium liquide saturé 10 sont séparés l'un de l'autre par l'échangeur de chaleur 11, de sorte qu'il est possible de fixer la pression de l'hélium liquide 5 à n'importe quel niveau voulu sans tenir compte de la pression de l'hélium  
10 liquide saturé 10. On peut utiliser pour l'hélium liquide 5 cet hélium liquide ainsi sous-refroidi dont les caractéristiques thermiques sont excellentes.

La figure 5 montre un autre mode de réalisation dans lequel une chambre 16 d'échange de chaleur côté haute  
15 température d'une structure de conduit de chaleur est utilisée pour constituer un moyen destiné à effectuer un échange de thermique sur le côté haute température, c'est-à-dire au-dessus de la matière de travail 8. La chambre 16 d'échange de chaleur comporte une section 18 de condenseur à une de ses extrémités.  
20 Lorsque, par exemple, on utilise de l'hydrogène liquide ( $\sim 1013$  mbars) comme réfrigérant dans une chambre de refroidissement 30, il suffit d'utiliser de l'hydrogène liquide saturé ( $\sim 810$  mbars) et de l'hélium liquide saturé (10,13 mbars) pour la chambre 16 d'échange de chaleur et pour la chambre 9  
25 d'échange de chaleur, respectivement. Les références 20 et 21 désignent un tuyau et un robinet, respectivement, pour l'introduction de l'hydrogène 17 dans la chambre 16 d'échange de chaleur, et la référence 23 désigne un robinet adapté pour être ouvert lorsque l'hélium 10 est enfermé de façon étanche  
30 dans la chambre 9 d'échange de chaleur et pour être fermé pendant le fonctionnement à l'état stable. Du point de vue de la pression, l'hélium liquide 25 contenu dans un réservoir est maintenu en communication avec l'hélium liquide 5 par l'intermédiaire de la soupape 6.

35 L'hélium liquide  $\text{He}^3$  ( $\sim 132$  mbars) peut être enfermé de façon étanche dans la chambre 9 d'échange de chaleur et l'hélium liquide  $\text{He}$  (1013 mbars) dans la chambre de refroidis-

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35

sement 4. Dans le mode de réalisation représenté sur la figure 5, la matière de travail 8 agit sur le côté basse température de la même manière que celle décrite à propos du mode de réalisation représenté sur la figure 1. Toutefois, sur le côté haute température, de la chaleur est transférée de la matière de travail 8 à l'hydrogène liquide 1A au moyen d'un transfert de chaleur par ébullition par l'intermédiaire de l'hydrogène liquide 17, et un transfert de chaleur par condensation a lieu dans la section de condenseur 18.

La figure 6 montre un autre mode de réalisation encore dans lequel la chambre 16 d'échange de chaleur côté haute température de la structure de conduit de chaleur est également utilisée pour constituer un moyen effectuant un échange de chaleur sur le côté haute température, c'est-à-dire au-dessus de la matière de travail 8. Dans ce mode de réalisation, de la chaleur est transférée de la matière de travail 8 à un dispositif de refroidissement cryogénique 19 au moyen d'un transfert de chaleur par ébullition à travers l'hydrogène liquide (20 K, 1013 mbars) 17 dans la chambre 16 d'échange de chaleur et un transfert de chaleur par condensation se produit dans la section de condenseur 18. En concevant le dispositif de refroidissement cryogénique 19 de manière à obtenir une température très basse de 20 K, il est possible d'obtenir une plage de températures de travail de 1,8 à 20 K. L'hydrogène gazeux parvient à travers le conduit 20 et le robinet 21 à la chambre 16 d'échange de chaleur côté haute température où il se condense en hydrogène liquide 17 dont le volume représente environ 0,2 - 0,4 fois le volume de la chambre 16 d'échange de chaleur. Pendant le fonctionnement à l'état stable, on ferme le robinet, comme c'est le cas pour le mode de réalisation représenté sur la figure 5. Le dispositif de refroidissement cryogénique 19 pour l'obtention de la température basse d'environ 20 K peut être du cycle Gifford McMahon, du cycle Stirling ou du cycle Claude.

Lorsque la température de la matière de travail 8 atteint celle du côté basse température, l'hydrogène liquide 17 présente une conductibilité thermique très faible, de sorte

que la matière de travail absorbe la chaleur presque entièrement par l'intermédiaire d'une section 26 de transmission de chaleur par condensation. Toutefois, une quantité notable de chaleur serait également absorbée par la matière de travail 8 à partir  
5 du côté haute température par suite de la convection de l'hydrogène liquide 17. On utilise un élément anti-convection 22 pour éviter la convection de l'hydrogène liquide 17. Cet élément anti-convection 22 peut être formé par de la laine de verre et être placé sur la surface supérieure de la matière de  
10 travail 8. La section 25 de transmission de chaleur par condensation qui se trouve sur la surface inférieure de la matière de travail 8 peut être munie d'ailettes, par exemple pour favoriser la conduction de la chaleur.

REVENDICATIONS

1. Appareil de réfrigération magnétique comprenant :  
une matière de travail (8) formée par une matière magnétique ;  
un système (15) de générateur de champ magnétique capable de  
5 modifier périodiquement la répartition ou intensité d'un champ  
magnétique appliquée à ladite matière de travail ; et un moyen  
pour transmettre la chaleur à ladite matière de travail,  
l'appareil de réfrigération magnétique susvisé étant caracté-  
risé par le fait qu'il comprend :

10 un premier moyen d'échange de chaleur disposé à  
l'endroit de la face d'extrémité (8A) basse température de  
ladite matière de travail pour effectuer un échange de chaleur  
par condensation d'un réfrigérant (10 ; 10A ; 10B) et un second  
moyen d'échange de chaleur disposé à l'endroit de la face  
15 d'extrémité (8B) haute température de ladite matière de  
travail pour effectuer un échange de chaleur par ébullition  
d'un autre réfrigérant (1 ; 17A ; 17B) ;

l'échange de chaleur étant effectué par le transfert  
de la chaleur par condensation à travers ledit réfrigérant  
20 mentionné en premier au cours d'une phase durant laquelle la  
matière de travail absorbe la chaleur et par le transfert de  
la chaleur par ébullition à travers ledit réfrigérant mentionné  
en dernier au cours d'une phase durant laquelle la matière de  
travail libère la chaleur.

25 2. Appareil de réfrigération magnétique suivant la  
revendication 1, caractérisé par le fait que ledit premier  
moyen d'échange de chaleur est fixé fermement à une surface  
inférieure de ladite matière de travail et que ledit second  
moyen d'échange de chaleur est fixé fermement à la surface  
30 supérieure de ladite matière de travail.

3. Appareil de réfrigération magnétique suivant la  
revendication 2, caractérisé par le fait que ledit premier  
moyen d'échange de chaleur comprend un conduit de chaleur  
comprenant une chambre (9) de transfert de chaleur dans  
35 laquelle est enfermée de façon étanche une quantité prédé-  
terminée de réfrigérant liquide saturé (10 ; 10A ; 10B).

4. Appareil de réfrigération magnétique suivant la

revendication 2, caractérisée par le fait que ledit second moyen d'échange de chaleur comprend une chambre (16) de transfert de chaleur dans laquelle est emmagasiné un liquide réfrigérant (1).

5 5. Appareil de réfrigération magnétique suivant la revendication 2, caractérisé par le fait que ledit second moyen d'échange de chaleur comprend un conduit de chaleur comprenant une chambre (16) de transfert de chaleur dans laquelle est enfermée de façon étanche une quantité prédé-

10 terminée d'un réfrigérant liquide saturé (17A ; 17B).

6. Appareil de réfrigération magnétique comprenant : une matière de travail (8) formée d'une matière magnétique ; un système (15) de génération de champ magnétique capable de faire varier périodiquement la répartition ou intensité d'un

15 champ magnétique appliqué à ladite matière de travail ; et un moyen pour transmettre de la chaleur à ladite matière de travail, l'appareil de réfrigération magnétique susvisé étant caractérisé par le fait qu'il comprend :

un premier moyen d'échange de chaleur disposé à

20 l'endroit de la face d'extrémité (8A) basse température de ladite matière de travail pour effectuer un échange de chaleur par condensation d'un réfrigérant (10 ; 10A ; 10B) ;

un second moyen d'échange de chaleur disposé à l'endroit de la face d'extrémité (8B) haute température de

25 ladite matière de travail pour effectuer un échange de chaleur par ébullition d'un autre réfrigérant (1 ; 17A ; 17B) ;

et

un troisième moyen d'échange de chaleur raccordé audit premier moyen d'échange de chaleur par l'intermédiaire

30 d'un échangeur de chaleur (11), ledit troisième moyen d'échange de chaleur comprenant une chambre (4) pour recevoir un matériel (7) à refroidir et un réfrigérant liquide (5 ; 5A ; 5B) contenu dans ladite chambre, grâce à quoi ledit matériel peut être refroidi par l'action d'absorption de

35 chaleur de ladite matière de travail.

FIG. 1

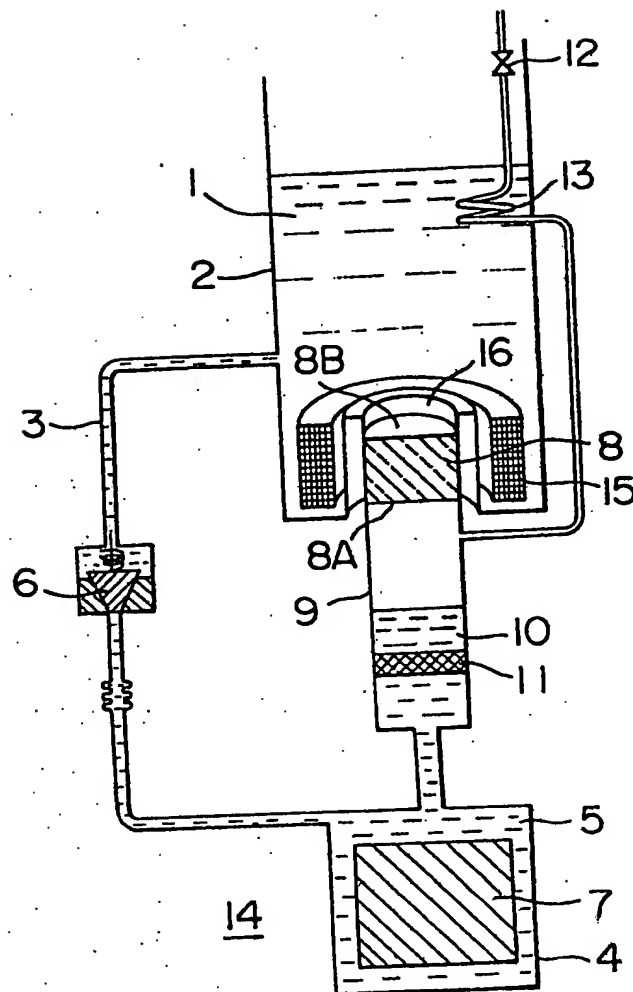


FIG. 2

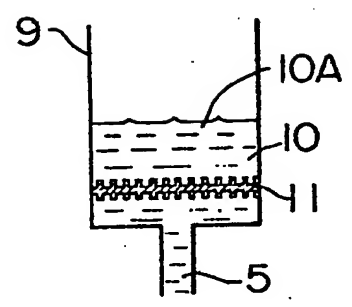


FIG. 3

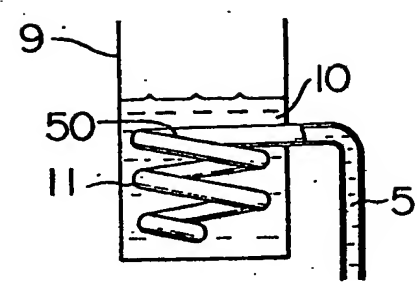


FIG. 4

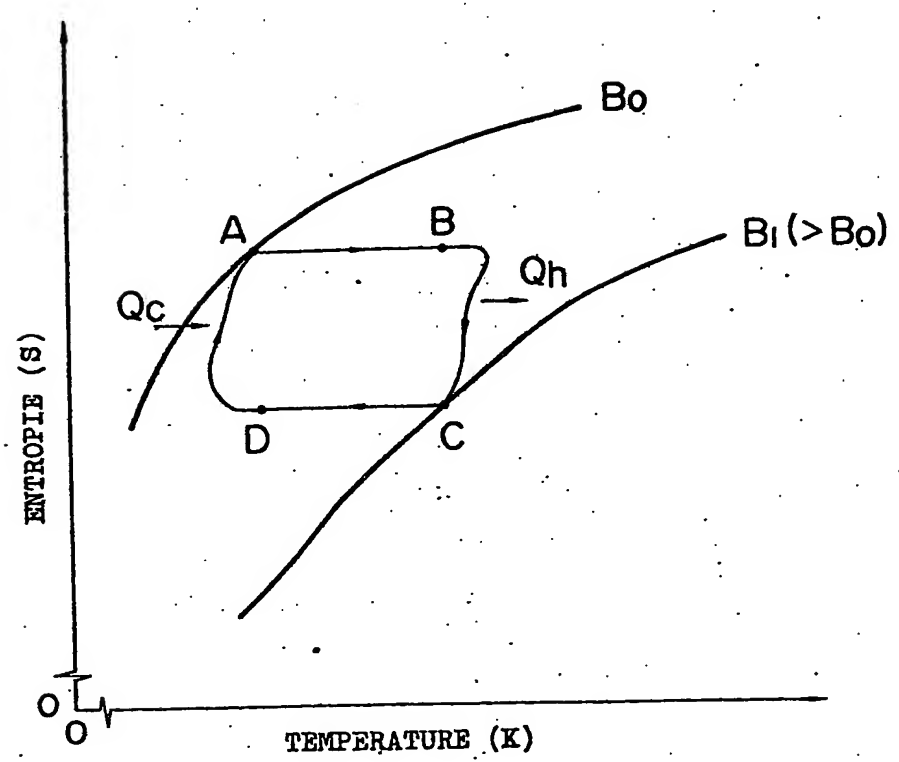


FIG. 5

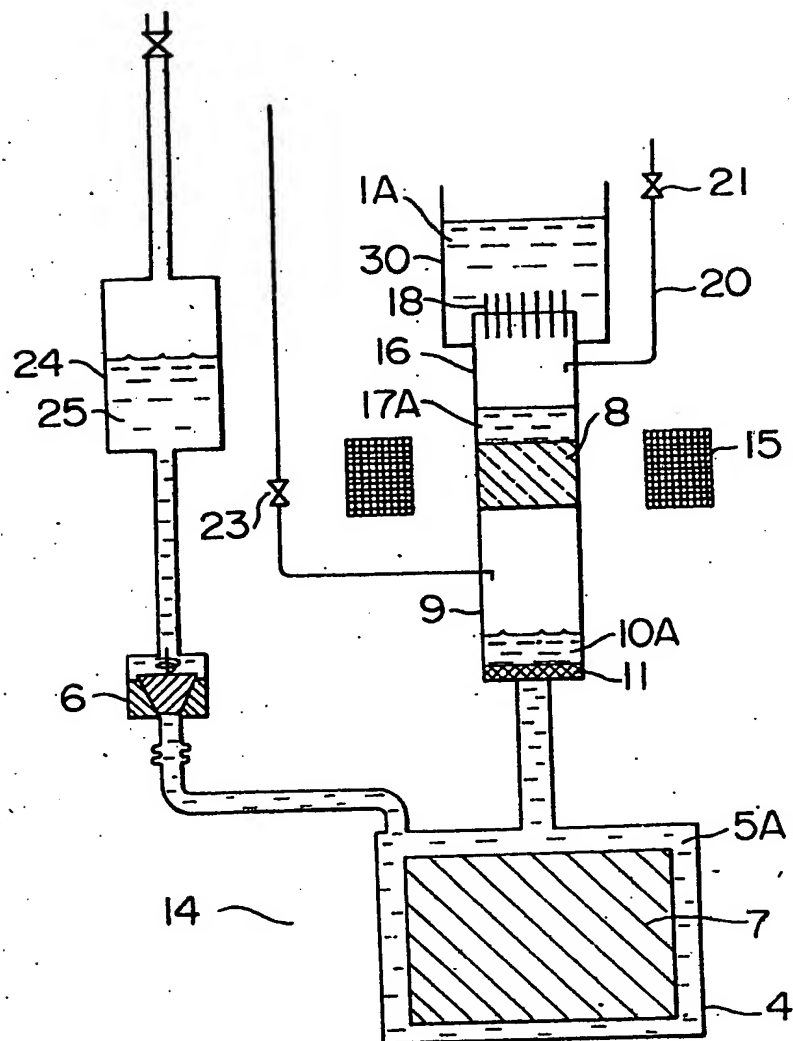
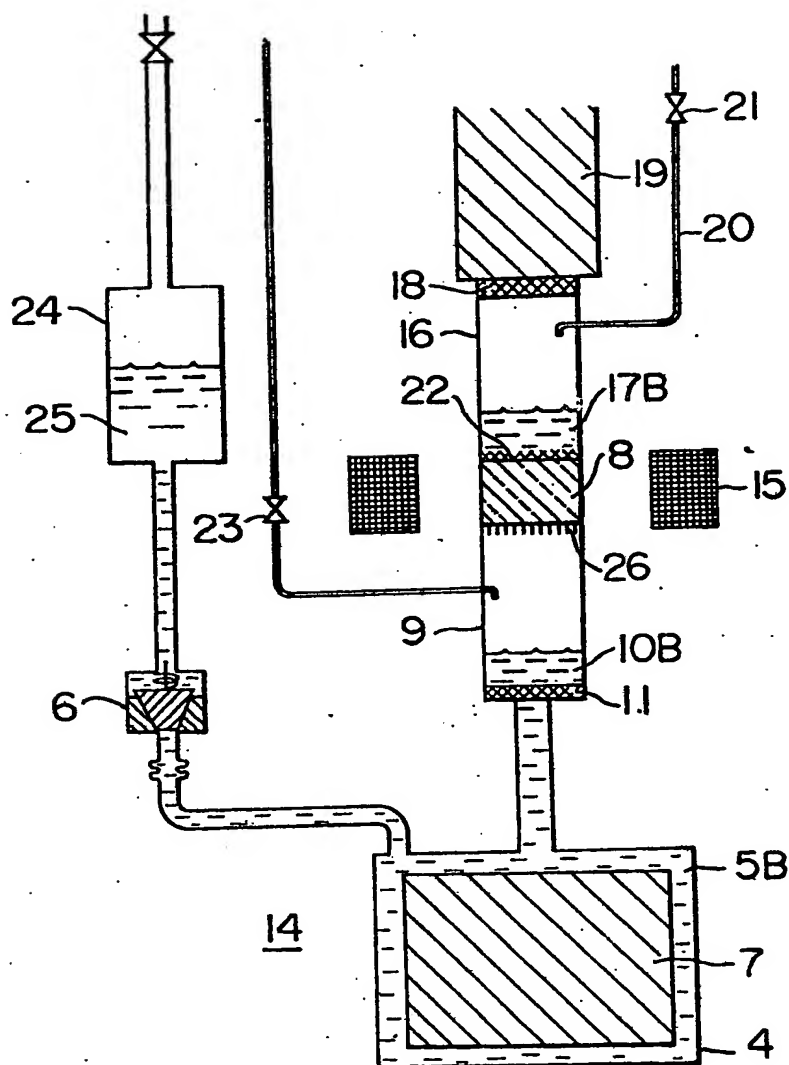


FIG. 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**